

Cálculo Mecânico e Análise de Tensões de Sistemas de Tubulações

Com a colaboração de Montebello da Petrobras

1. Objetivo

As instalações de refino de petróleo, petroquímicas, parques de armazenamento, terminais, termoelétricas, nas áreas de processamento e de utilidades; e ainda as instalações terrestres de exploração e produção de óleo & gás, utilizam as normas ASME B31.1, ASME B31.3, ASME B31.4 e ASME B31.8, dentro do escopo de cada uma, para projeto e construção dos sistemas de tubulações. Para as instalações já existentes e em operação são utilizadas as normas API-570 e API-574 para inspeção, manutenção e reparos.

As recomendações deste artigo se restringem às tubulações e sistemas de tubulações, de instalações de processo e utilidades, enquadradas na norma ASME B31.3 Process Piping.

2. Referências

2.1. Norma ASME B 31.1 - Power Piping

Para as tubulações de estações geradoras de energia elétrica, termoelétricas, caldeiras das plantas industriais, sistemas de aquecimento geotérmico e sistemas de refrigeração.

Estabelece os requisitos para projeto, materiais, fabricação, montagem, teste, inspeção, operação e manutenção de sistemas de tubulação.

2.2. Norma ASME B 31.3 - Process Piping

Utilizada no projeto e construção de sistemas de tubulações em Refinarias, Terminais, Instalações Petrolíferas e Petroquímicas em geral e Tubulações em Indústrias Químicas e Farmacêuticas.

2.3. Norma ASME B 31.4 - Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids

Para sistemas de dutos e tubulações de transporte de líquidos, como hidrocarbonetos, gás liquefeito de petróleo, amônia anidra, álcoois. e dióxido de carbono, entre plantas e terminais e dentro de terminais, bombeamento, regulação e estações de medição.

O objetivo principal deste Código é estabelecer os requisitos para o projeto seguro, construção, inspeção, testes, operação e manutenção de sistemas de tubulações de transporte de líquidos para a proteção do público em geral e pessoal da empresa que operam, bem como para a proteção do sistema de tubulação contra vandalismo e danos acidentais por outros e ainda de proteção do meio ambiente.

2.4. Norma ASME B 31.8 - Gas Transmission and Distribution Piping Systems

Abrange o projeto, fabricação, instalação, inspeção e teste de instalações de dutos e tubulações utilizados para coleta, transporte e distribuição de gás, predominantemente entre as fontes de produção e terminais, incluindo as estações de compressão e de medição.

2.5. Norma ASME B36.10 - Welded and Seamless Wrought Steel Pipe

Padroniza os diâmetros e as espessuras (schedules) dos tubos comerciais de aço Carbono e aço Liga.

2.6. Norma ASME B36.19 - Stainless Steel Pipe

Padroniza os diâmetros e as espessuras (schedules) dos tubos comerciais de aço inoxidável.

2.7. Norma API STD 570 - Piping Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems

Norma que desenvolve as atividades de inspeção de sistemas tubulações existentes, reparos, mudanças de condições de projeto original, nas indústrias de petróleo e petroquímicas e indústrias Químicas e Farmacêuticas.

2.8. Norma API RP 574 - Inspection Practices for Piping System Components Downstream Segment
Essa prática recomendada complementa o código API STD 570 e descreve práticas de inspeção para tubulações, tubos, válvulas (exceto válvulas de controle) e acessórios utilizados em refinarias de petróleo e fábricas de produtos químicos. Também aborda os métodos de planejamento da inspeção, os intervalos de inspeção, técnicas de inspeção e tipos de registros.

Esta publicação não cobre a inspeção de itens especiais, como instrumentos e válvulas de controle.

2.9. Norma EJMA Standards - Standards of the Expansion Joint Manufacturers Association.

Os padrões da norma EJMA são reconhecidos como os mais indicados sobre seleção, dimensionamento e aplicação de juntas de expansão de foles de metal, para utilização em tubulações e equipamentos.

2.10. Norma Petrobras N-57 - Projeto Mecânico de Tubulações Industriais

Norma do acervo técnico da Petrobras que fixa as condições exigíveis para a execução do projeto mecânico de tubulações em unidades industriais, incluindo os critérios básicos aplicáveis aos diversos cálculos do projeto mecânico de tubulações.

2.11. Norma Petrobras N-46 - Vãos máximos entre suportes de tubulação

Norma do acervo técnico da Petrobras que fixa o valor máximo da distância entre suportes fixos de tubulações.

2.12. Norma Petrobras N-115 - Fabricação e Montagem de Tubulações Metálicas

Norma do acervo técnico da Petrobras que estabelece as condições de fabricação e montagem de sistemas de tubulações metálicas.

3. Conceitos

3.1. Sistema de Tubulações - Conjunto de tubulações utilizadas para escoamento de fluidos, interligadas entre si e/ou a equipamentos estáticos ou dinâmicos, sujeitas às mesmas condições de projeto: fluido, temperatura e pressão.

O sistema é considerado como um elemento mecânico submetido a esforços e transmitindo esforços aos suportes, aos bocais dos equipamentos interligados e aos pontos de fixação ou ancoragem.

3.2. Tubulação - Conjunto de tubos, normalmente cilíndricos com seção transversal plena, destinados ao transporte de fluidos de processo ou de utilidades e controlados por válvulas, que incluem acessórios como: flanges, curvas, reduções, tês e conexões em geral.

3.3. Ductilidade (ductility) - Capacidade do material de se deformar plasticamente, sem se romper, sob a ação de esforços externos. Uma das medidas usadas para definir a ductilidade no teste de resistência à tração é o percentual de redução da área da seção do corpo de prova

3.4. Tensões residuais – Tensões existentes nos corpos materiais, quando estes não estão sob a ação de esforços externos, normalmente frutos de soldagem e de conformação mecânica.

3.5. Tenacidade (toughness) - Capacidade do material de absorver energia e se deformar plasticamente, sob a ação de esforços externos, antes da ruptura. Também é a propriedade que mede a resistência mecânica do material, para as condições de impacto à baixa temperatura.

3.6. Temperatura de transição (transition temperature) - Temperatura na qual o material altera a característica de comportamento dúctil para comportamento frágil.

3.7. Classe de pressão *Pressure-Temperature Rating Classes for Materials* – É um número (150, 300, 400, 600, 900, 1500, 2500) que corresponde ao par pressão & temperatura admissível, para os

materiais metálicos, conforme definido na norma ASME B16.5 Pipe Flanges and Flanged Fittings NPS 1/2 Through NPS 24

3.8. Esforços de tubulação

Os principais esforços mecânicos a que podem estar submetidas as tubulações industriais são:

- Pressão interna ou externa;
- Vácuo;
- Peso próprio dos tubos e do fluido contido;
- Peso de acessórios, conexões, válvulas, isolamento térmico;
- Peso do fluido de teste de pressão;
- Peso de outros tubos suportados ou apoiados;
- Peso de plataformas, pessoas, neve, terra (tubo enterrado), veículos, etc.;
- Pressão de choque ou golpe de aríete que ocorre em situações sujeitas a elevações bruscas de pressão:
 - ✓ Parada de operação brusca;
 - ✓ Fechamento repentino de válvula;
 - ✓ Partidas de bombas;
 - ✓ Partidas de compressores;
- Ação dinâmica:
 - ✓ Movimento do fluido;
 - ✓ Cargas de vento;
 - ✓ Terremotos;
- Impactos de natureza mecânica, golpes de aríete;
- Vibrações:
 - ✓ Decorrentes de fluxo pulsante na tubulação;
 - ✓ Transmitida por máquinas;
- Dilatações térmicas diferenciais:
 - ✓ Entre os ramais da tubulação;
 - ✓ Entre tubulações e equipamentos conectados;
 - ✓ Entre pontos fixos ou ancoragens;
- Congelamento – contração térmica e fragilização do metal;
- Atrito nos suportes;
- Esforços de desalinhamentos, etc.;
- Condições transitórias passíveis de causar fadiga:
 - ✓ Variações de pressão;
 - ✓ Aríetes frequentes decorrentes de parada / partida de bomba ou de fechamento brusco de válvula de bloqueio;
 - ✓ Resfriamento e condensação de vapor ou fluido gasoso: pressão x vácuo;
 - ✓ Expansão do fluido por elevação da temperatura.

3.9. Pré-tensionamento de tubulação (“cold spring”)

Pré-tensionamento do tubo, ou *cold spring* é o processo de deformação elástica do sistema de tubulação, normalmente realizado por corte de comprimento de tubo entre duas ancoragens, durante a montagem, para produzir um deslocamento inicial desejado, reduzir o esforço devido à dilatação e permitir reações e tensões mais favoráveis na condição de operação do sistema.

3.10. Range de tensões

As tensões secundárias, decorrentes da expansão térmica dos trechos tubos de um sistema de tubulações, percorrem uma faixa (*range*) de valores, desde a condição fria até a condição quente e vice versa. A cada ciclo (frio-quente-frio) essas tensões provocam deformações, nos constitutivos do sistema, de modo que ao longo do tempo, na situação quente, o valor das tensões decai (pela

deformação local), enquanto que na situação fria o valor da tensão torna a aumentar para conseguir um novo equilíbrio do sistema deformado.

4. Classificação dos carregamentos, esforços e tensões resultantes

Os carregamentos a que os sistemas de tubulações estão submetidos são estáticos e dinâmicos.

Carregamentos estáticos:

- a. Temperatura: normal de operação, *upsets* e projeto.
- b. Pressão: normal de operação, *upsets* e projeto.
- c. Vento;
- d. Movimentos dos equipamentos devido à expansão térmica, no aquecimento e no resfriamento;
- e. Pesos: próprio, do fluido, acessórios, ramais interligados, dispositivos para suportaçãõ;
- f. Ciclos de operação: partidas e paradas.

Carregamentos dinâmicos:

- a. Golpes de aríete causados por fechamento súbito de válvulas de vapor ou gás, criando ondas de pressão no interior do tubo. Típico de válvula de ação muito rápida (0,5 a 0,05 segundos) instaladas para proteção de turbinas contra sobre velocidade.
- b. Pico de pressão em linhas de grande extensão, causado por abertura ou fechamento de válvula e o longo tempo para estabelecer ou interromper o fluxo do líquido.
- c. Impulso criado na abertura de válvula de alívio de pressão ou em disco de ruptura,
- d. Martelo hidráulico criado por fluxo bifásico ou pelo flasheamento repentino de água em contato com vapor.
- e. Choque térmico pelo rápido resfriamento ou aquecimento da superfície do tubo.
- f. Terremotos.
- g. Reação química fora de controle no tubo.
- h. Falha súbita de válvula criando ondas de choque ou choque térmico.
- i. Vibrações induzidas por máquinas (ex. compressor alternativo), ciclagem de válvula, operação com mistura de fluidos ou por fluxo bifásico no interior do tubo.
- j. Vibração causada por cavitação em válvula ou em bomba.

Esses carregamentos geram esforços (forças e momentos) nas partes e componentes das tubulações e se dividem em dois grupos, que interagem juntos, mas com comportamentos diferentes:

- Grupo que gera tensões primárias.

Originárias de esforços primários ou mecânicos devido à pressão interna, peso próprio e do líquido transportado, vento e sobrecargas.

- Grupo que gera tensões secundárias.

Originárias de esforços secundários decorrentes da restrição à livre dilatação térmica de trechos da tubulação, ou por dilatações diferenciais devido a diferentes temperaturas ou por materiais com diferentes coeficientes de expansão térmica.

Os cálculos de determinação das tensões atuantes, primárias e secundárias, são distintos.

- Determinação das tensões primárias, devido aos esforços mecânicos em uma tubulação:
 - Tensão longitudinal: resultante de pressão; esforço de flexão; peso próprio, do fluido, de acessórios e de outras tubulações; atrito nos suportes; mudanças de direção: leva à ruptura do tubo em forma de circunferência.
 - Tensão circunferencial: resultante de pressão; deformações superficiais (por ex. achatamento) e de esforços flexão: leva à ruptura do tubo segundo uma geratriz.
 - Tensão radial: resultantes de pressão.
 - Tensão de compressão longitudinal na espessura da parede do tubo.
 - Tensão de cisalhamento circunferencial: resultante de esforços de torção.
 - Tensões devido às reações da junta de expansão: empuxo (força axial) da pressão interna e esforços provenientes da rigidez do fole.

- Tensões residuais de montagem da tubulação.
- Determinação das tensões secundárias causadas por dilatações térmicas impedidas, originadas de trechos com temperaturas diferentes, materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica, e movimentos nas extremidades dos tubos provocados por equipamentos conectados.

5. Tensões admissíveis sistema de tubulação

Com base nestes comportamentos diferenciados, a Norma ASME B 31.3 fornece tensões admissíveis diferentes para as tensões resultantes primárias e secundárias.

5.1. Tensões primárias

As tensões primárias são limitadas dentro do regime elástico, ou seja, inferiores ao limite de escoamento, e as secundárias limitadas ao regime plástico, ou seja acima do limite de escoamento, dos materiais construtivos.

As tensões primárias não sofrem alívio com qualquer deformação permanente que ocorra e o valor destas tensões é sempre diretamente proporcional ao carregamento originário.

A diferença básica entre a tensão primária e a secundária é que a primária não depende do tempo, não sofre relaxamento de tensões, e é função sempre do esforço que a origina.

Já as tensões secundárias são aliviadas pelas deformações permanentes que ocorrem ao longo do tempo de operação.

As tensões primárias devem ser inferiores à tensão admissível (S) fornecidas pelas normas ASME B31.1, B31.3, B31.4 e B31.8, respectivamente.

No caso da norma ASME B31.3, as tensões admissíveis das tensões primárias são estabelecidas no parágrafo 302.3 *Allowable Stresses and Other Stress Limits* da norma:

(a) Tensão de tração (*tension*): valores de tensão de tração admissível S estão estabelecidos nas tabelas *Tables A-1 and A-2*, em função do material construtivo e da temperatura de projeto.

- *Table A-1 Basic Allowable Stresses in Tension for Metals.*
- *Table A-2 Design Stress Values for Bolting Materials.*

(b) Tensão cisalhante (*shear*): o limite de tensão cisalhante é 80% da tensão de tração admissível.

(c) Tensão de apoio (*bearing*): o limite da tensão de apoio é 1,60 vezes a tensão de tração admissível.

(d) Tensão de compressão (*compression*): o valor de tensão de compressão admissível é o mesmo da tensão de tração admissível.

(e) Tensão de compressão longitudinal (*structural stability compression*): o valor da tensão de compressão longitudinal máxima admissível, a ser utilizada em tubo submetido a cargas que produzem compressão longitudinal, deve ser o menor dos seguintes valores:

- (1) o valor máximo de tensão de tração admissível S acima;
- (2) o valor do fator B determinada pelo procedimento descrito no código de Vasos de Pressão ASME Seção VIII Divisão 1 parágrafo UG-23 *MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES item (b)*.

5.2. Tensões secundárias

As tensões secundárias no sistema de tubulação são decorrentes, principalmente, da dilatação ou expansão térmica, devido às temperaturas dos trechos de tubos, que são impedidos de se dilatarem livremente, gerando esforços (forças e momentos) que se transformam em tensões, com a característica de se aliviarem, através de deformações localizadas ao longo do tempo.

As tensões secundárias percorrem uma faixa (*range*) de valores, desde a condição fria até a condição quente e vice versa. A cada ciclo (frio-quente-frio) essas tensões provocam deformações, de modo que ao longo do tempo, na situação quente, o valor das tensões decai (pela deformação local), mas na situação fria o valor da tensão torna a aumentar, para conseguir um novo equilíbrio do sistema deformado.

Para as tensões secundárias, a Norma ASME B 31.3 permite tensões admissíveis mais altas que as primárias, mas limitadas pelo *range* de tensão admissível.

As tensões secundárias apresentam o fenômeno típico de relaxamento espontâneo (“self-springing”), pois tendem a reduzir de intensidade com as deformações permanentes que ocorrem com o tempo e são autolimitantes, se permanecerem dentro do *range* admissível.

Este fenômeno é próprio de materiais dúcteis, como o aço carbono, aços ligas e aços inoxidáveis, usados nas indústrias petroquímica e petrolífera, além da maioria dos metais não ferrosos.

Em um sistema de tubulação, o *range* das tensões secundárias, SE, não deve exceder o *range* admissível, *Allowable Displacement Stress Range SA*, calculado pela equação:

$$SA = f (1.25S_c + 0.25S_h)$$

S_c = tensão de tração admissível do material na condição a frio (c=cold), isto é na temperatura da condição ambiente;

S_h = tensão de tração admissível de material na condição a quente (h=hot), isto é na temperatura da condição de projeto;

f = *Stress Range Factor*, f conforme Fig. 302.3.5 da norma ASME B31.3.

5.3. A norma ASME B31.3 alterou o fator de segurança para as considerações de tensão admissível, a partir da revisão do código em 1998, Adenda 2000, portanto a análise de modificações em sistemas de tubulações existentes deve ser realizada com base nas tensões admissíveis da edição da norma do projeto original.

6. Projeto Mecânico de Tubulação

O Cálculo Mecânico de Tubulação compõe-se do cálculo estático e da análise dinâmica.

O cálculo estático compreende o seguinte escopo:

- Cálculo da espessura nominal da parede de tubos e acessórios;
- Cálculo do vão entre suportes;
- Cálculo ou análise de flexibilidade;
- Cálculo de deslocamentos de juntas de expansão;
- Cálculo de deslocamentos e cargas em suportes não rígidos (ex. suportes de mola e contrapesos);
- Cálculo dos esforços sobre os suportes fixos e bocais;
- Verificação dos esforços admissíveis em bocais de equipamentos;
- Especificação de flanges e conexões flangeadas;
- Especificação das válvulas industriais: bloqueio, retenção, globo, agulha, etc.

A análise dinâmica complementa alguns projetos que necessitam de outros cálculos, tais como os efeitos dinâmicos causados por impactos, carga cíclica de vento, terremoto, vibrações, reações devido ao fluxo do fluido e choques hidráulicos. Estes são cálculos especiais não cobertos neste artigo.

6.1. Cálculo da espessura nominal da parede do tubo reto para pressão interna

A espessura do tubo da tubulação, para resistir às condições de projeto (pressão interna e temperatura) é dimensionada com a fórmula:

$$t = \frac{PD}{2(SEW + PY)}$$

$$t = \frac{P(d + 2c)}{2[SEW - P(1 - Y)]}$$

$$t_m = t + c$$

A pressão **P_{max}** que corresponde ao *rating* pressão x temperatura do tubo é calculada com:

$$P_{max} = \frac{2tSEW}{D \cdot 2tY}$$

$$P_{max} = \frac{2tSEW}{[(d+2c) + 2t(1-Y)]}$$

Onde:

t = Espessura de cálculo de parede (pol) (mm)

t_m = Espessura mínima, que inclui as tolerâncias de fabricação, corrosão ou erosão (pol) (mm)

c = Soma de tolerâncias de fabricação de tubo e sobreesspessura de corrosão ou erosão (pol) (mm)

P = Pressão interna de projeto ou pressão máxima do *rating* do tubo (psi) (MPa)

P_{max} = Pressão interna máxima correspondente à temperatura de projeto (psi) (MPa)

D = Diâmetro externo (pol) (mm)

d = Diâmetro interno (pol) (mm)

S = Tensão admissível para o material, excluindo qualidade de solda e fator de junta. (psi) (Mpa)

E = Fator de qualidade *Basic Quality Factor* ou eficiência de solda tabulados *Table A-1B Basic Quality Factors for Longitudinal Weld Joints in Pipes, Tubes, and Fittings*.

Y = Coeficiente da tabela *Table 304.1.1* (varia com o material e a temperatura).

Ex. aço carbono até 480°C, Y=0,4.

W = fator de redução de resistência da junta soldada e leva em conta que, em temperature elevada, a resistência da solda pode ser menor que a resistência do metal.

Para o aço Carbono W = 1, para todas as temperaturas. Para outros materiais como aço Liga Cr-Mo e aço inoxidável, ver tabela *Table 302.3.5 Weld Joint Strength Reduction Factor, W*.

Nota: Para $t \geq D / 6$ ou $P / SE > 0,385$, o cálculo da espessura requer consideração especial de fatores tais como a teoria da falha, efeitos da fadiga e estresse térmico.

A espessura nominal **t_n** é a espessura comercial ou “schedule” imediatamente acima de **t_m**.

A espessura nominal **t_n** do tubo também deve ser superior à espessura mínima estrutural, conforme a tabela a seguir:

Espessuras Mínimas Estruturais de Parede de Tubos

NPS		Aço-carbono e aço-liga	Aço inoxidável
1/2 a 1 1/2	Linhas de Utilidades	Sch 80	Sch 40S
1 a 1 1/2	Linhas de Processo	Sch 160	Sch 80S
2 a 6		Sch 40	Sch 40S
8 a 10		0,250*	Sch 40S
12 ou maiores		0,250*	0,250*

6.2. Cálculo da espessura nominal da parede do tubo reto para pressão externa

Para determinar a espessura da parede de tubo reto sob a pressão externa, deve ser seguido o procedimento:

- Assumir uma espessura de tubo (schedule) acima da espessura mínima estrutural. Seguir o procedimento apresentado no Código de Vasos de Pressão, *ASME Seção VIII, Divisão 1, UG-28 Thickness of Shells and Tubes under External Pressure (c) Cylindrical Shells and Tubes*, usando como comprimento de projeto, L, a distância em linha reta entre quaisquer duas seções que são consideradas reforçadas por: acessórios tipo curva, tê, redução; ligação flangeada; válvula; interligação de ramal, fechamento de tubo, etc.

Caso a pressão externa atuante P_e seja superior a P_a , pressão externa admissível, assumir um valor maior para a espessura e refazer o cálculo.

- Como exceção, para a tubulação com $D_o / t < 10$, o valor de S a ser utilizada na determinação de P_a será o menor dos seguintes valores para material de tubo à temperatura de projeto:

(a) 1,5 vezes o valor da tensão a partir da tabela *Table A-1 norma ASME B31.3* ou

(b) 0,9 vezes a tensão de escoamento tabulada no *Código ASME Seção II, Parte D, Tabela Y-1*.

6.3. Cálculo dos acessórios padronizados de tubulações

Para os acessórios padronizados de tubulação como curvas (90°, 45°, RL- raio longo, RC- raio curto); reduções (concêntricas ou excêntricas), tês, etc., conforme tabela **Table 326.1 Component Standards** (ver anexo deste), os ratings de pressão-temperatura são calculados da mesma forma que tubos retos sem costura, considerando-se a tensão admissível do material do tubo equivalente ao do acessório, se comparando a composição química e as propriedades mecânicas.

Em um projeto assume-se para os acessórios padronizados a mesma espessura nominal (ou schedule) do tubo.

6.4. Curva de tubo dobrado

Quando o projeto prevê “tubo dobrado”, consultar a norma *ASME B 31.3 parágrafo 304.2.1 Pipe Bends*.

6.5. Curva em gomo ou miter

Para dimensionar “curva em gomo ou miter”, consultar a norma *ASME B 31.3 parágrafo 304.2.3 Miter Bends*

6.6. Tampo ou fechamento de extremidade de tubo

Para o fechamento de extremidade do tubo, consultar a norma *ASME B 31.3 parágrafo 304.4 Closures*

6.7. Flanges e juntas de vedação

Os flanges e juntas de vedação são padronizados por classes de pressão, conforme as normas *ASME B16.5 Pipe Flanges and Flanged Fittings NPS 1/2 Through NPS 24*

ASME B16.47 Large Diameter Steel Flanges: NPS 26 Through NPS 60 Metric/Inch Standard

ASME B16.20 Metallic Gaskets for Pipe Flanges Ring-Joint, Spiral-Wound, and Jacketed

ASME B16.21 Nonmetallic Flat Gaskets for Pipe Flanges

e são considerados adequados para uso no projeto, desde que enquadrados na classe de pressão correspondente da tubulação.

6.8. Flanges especiais e tampos

Para o uso de “flanges especiais”, o projeto para dimensionamento de flanges e tampos deve ser conforme a norma *ASME B31.3 parágrafos 304.5.1 Flanges 304.5.2 Blind Flanges 304.5.3 Blanks*.

6.9. Ramais

As aberturas nos tubos, para a interligação com solda de ramais, ocasionam o enfraquecimento da parede de metal e normalmente requerem reforços constituídos de anéis de chapa, que repõem a área de metal retirada.

Consultar a norma *ASME B 31.3 parágrafos 304.3.2 Strength of Branch Connections e 304.3.3 Reinforcement of Welded Branch Connections*

6.10. Cálculo do vão entre suportes

O vão máximo entre suportes de tubulação é normalmente estabelecido em tabelas pré-dimensionados.

A norma Petrobras N-46 Vãos máximos entre suportes de tubulação por ex., é válida para tubos de qualquer tipo de aço carbono, aço liga e aço inoxidável, com o mínimo de resistência estrutural do tubo de aço Carbono API 5L Grau B.

Para tubulações em que se necessite calcular o vão máximo, entre suportes em trechos retos de tubulação, proceder como a seguir, dentro do escopo das tubulações cobertas pela norma ASME B31.3.

6.10.1. As cargas abaixo devem ser consideradas nesse cálculo:

a) carga distribuída (q) é a soma das seguintes cargas:

- ✓ Peso próprio da tubulação com todos os seus acessórios;
- ✓ Peso do fluido contido ou peso da água (o que for maior) (ver Nota);
- ✓ Peso do isolamento térmico ou de algum outro revestimento interno ou externo ou do sistema de aquecimento;
- ✓ Peso de outras tubulações paralelas de pequeno diâmetro, eventualmente suportadas pelo tubo.

Nota: Para tubulações de grande diâmetro (NPS 20 ou maior), destinadas ao transporte de gases, pode não ser considerado o peso da água contida, desde que o teste de pressão da tubulação não seja o hidrostático ou quando forem previstos suportes adicionais provisórios para o momento do teste hidrostático. Todavia, deve ser analisada a possibilidade de ocorrência de condensado durante a fase de partida da unidade.

b) cargas concentradas; soma das seguintes cargas:

- ✓ Sobrecarga adicional (W);
- ✓ Peso somado de válvulas, de flanges e outros acessórios de tubulação, de derivações ou ramais não suportados ou de outros tubos apoiados, existentes no trecho considerado (Q).

Nota: A sobrecarga adicional mínima de $W = 2.000$ N, aplicada no meio do vão, deve ser considerada obrigatoriamente em todas as tubulações de aço.

6.10.2. Para o caso de tubulações que apresentem apenas cargas distribuídas, o vão máximo entre suportes pode ser calculado pela seguinte fórmula, apresentada em unidades coerentes:

$$L = \sqrt{\frac{10 \cdot Z \cdot \sigma_a}{q}}$$

Onde:

L = vão máximo entre suportes;

Z = momento resistente da seção transversal do tubo;

σ_a = tensão admissível à flexão, que é a tensão admissível S da tabela *Table A-1* da norma ASME B31.3, do material na temperatura considerada;

q = soma das cargas distribuídas.

6.10.3. Para o caso mais geral de tubulações com cargas distribuídas e concentradas, o vão máximo entre suportes pode ser calculado pela fórmula abaixo, apresentada em unidades coerentes:

$$\sigma_f = \frac{L}{10 \cdot Z} [q \cdot L + 2(Q + W)]$$

Onde:

σ_f = tensão à flexão calculada para o vão máximo;

L = vão máximo entre os suportes;

Z = momento resistente da seção transversal do tubo;

q = soma das cargas distribuídas;

Q = carga concentrada;

W = sobrecarga no meio do vão.

Nota: Para o vão máximo: $\sigma_f = \sigma_a = S$.

6.10.4. Em qualquer caso, deve ser verificado se a flecha máxima é inferior aos seguintes limites:

a) 25 mm, para tubulações fora das unidades de processo;

b) 6 mm, para tubulações dentro das unidades de processo.

Nota: Caso a flecha calculada exceda os limites acima, o vão deve ser diminuído para atender a essas condições. A flecha máxima pode ser calculada, aproximadamente, pela expressão abaixo, apresentada em unidades coerentes:

$$\delta = \frac{24 \cdot L^3}{10 \cdot EI} \left(\frac{Q+W}{3} + \frac{qL}{4} \right)$$

Onde:

δ = flecha máxima;
L = vão entre os suportes;
E = módulo de elasticidade do material do tubo ;
I = momento de inércia;
Q = carga concentrada;
W = sobrecarga no meio do vão;
q = soma das cargas distribuídas.

6.10.5. O cálculo do vão máximo entre suportes, dado nos itens 6.10.2 e 6.10.3, não se aplica às tubulações de diâmetro muito grande (NPS > 48) ou de paredes finas (relação D/e > 100), para as quais deve ser verificado o possível efeito de colapso na região em contato com os suportes. Para tubulações que trabalham a vácuo deve, também, ser verificado o efeito de colapso na região de contato com os suportes.

6.11. Cálculo da reação devido ao atrito sobre o suporte

O deslocamento do tubo sobre os suportes gera uma reação devido ao atrito. Essa força de reação é uma força longitudinal calculada com a expressão:

Fat = **p_s** (peso da tubulação sobre o suporte) x **f_{at}** (fator de atrito entre os materiais do tubo e do suporte).

Para aço carbono, aço liga e aço inoxidável adotar o fator de atrito igual a 0,30. Em caso de tubulações de grande diâmetro (acima de NPS 20 ou maior), é costume usar uma placa de deslizamento de material de baixo atrito (ex. TEFLONTM), para reduzir essa força.

7. Análise Estática

7.1. Tensão circunferencial

✓ A pressão interna provoca tensão circunferencial, que pode ser calculada com a expressão:

S_c = tensão circunferencial atuante devido à pressão

$S_c = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (t_n - c)}$ em unidades coerentes e deve ser inferior à tensão admissível das tensões primárias (S).

7.2. Tensão longitudinal

✓ A pressão interna provoca tensão longitudinal, que pode ser calculada com a expressão:

$S_{l1} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot (t_n - c)}$ em unidades coerentes

S_{l1} = tensão longitudinal atuante devido à pressão

P = Pressão interna de projeto

D = Diâmetro externo do tubo

t_n = espessura nominal

- ✓ O peso próprio da tubulação e as sobrecargas (como peso do fluido ou da água, válvulas, flanges, isolamentos, peso de outros tubos caronas) levam ao tubo a atuar como uma viga contínua com diversos apoios, que resulta em tensão longitudinal, que pode ser calculada com a expressão já vista:

$$S_{I2} = \frac{L}{10.Z} [q.L+2(Q+W)]$$

S_{I2} = tensão longitudinal atuante devido aos pesos

- ✓ A força de reação devido ao atrito nos suportes e nas mudanças de direção também gera tensão longitudinal, que pode ser calculada como:

$$S_{I3} = \frac{F_{at}}{A_{tt}} \text{ em unidades coerentes}$$

S_{I3} = tensão longitudinal atuante devido ao atrito

F_{at} = força de atrito tubo x suporte

A_{tt} = área da seção transversal de metal do tubo

- ✓ Esforços de reação de junta de expansão, provocados pelo empuxo de pressão interna e pela rigidez do fole, que geram tensão longitudinal a ser calculada conforme as expressões da norma *EJMA*.

Essas tensões longitudinais devem ser combinadas e a resultante ser inferior à tensão admissível das tensões primárias (S).

Combinação das tensões primárias:

Devido às forças devido à pressão e ao peso. **S_L**

$$S_L = \sqrt{(|S_a| + S_b)^2 + (2S_t)^2}$$

S_a = tensão primária devido às forças longitudinais

$$S_a = S_{I1} + S_{I2} + S_{I3}$$

S_b = tensão primária devido a momentos de flexão

$$S_b = \frac{\sqrt{(I_i M_i)^2 + (I_o M_o)^2}}{Z}$$

S_t = tensão primária devida a momento torsor

$$S_t = \frac{I_t M_t}{2Z}$$

Z = $\pi R^2 (t_n - c)$ modulo da seção transversal do tubo

R = raio externo do tubo

M_i = momento fletor in-plane devido aos esforços primários;

M_o = momento fletor out-plane devido aos esforços primários;

M_t = momento torsor devido aos esforços primários.

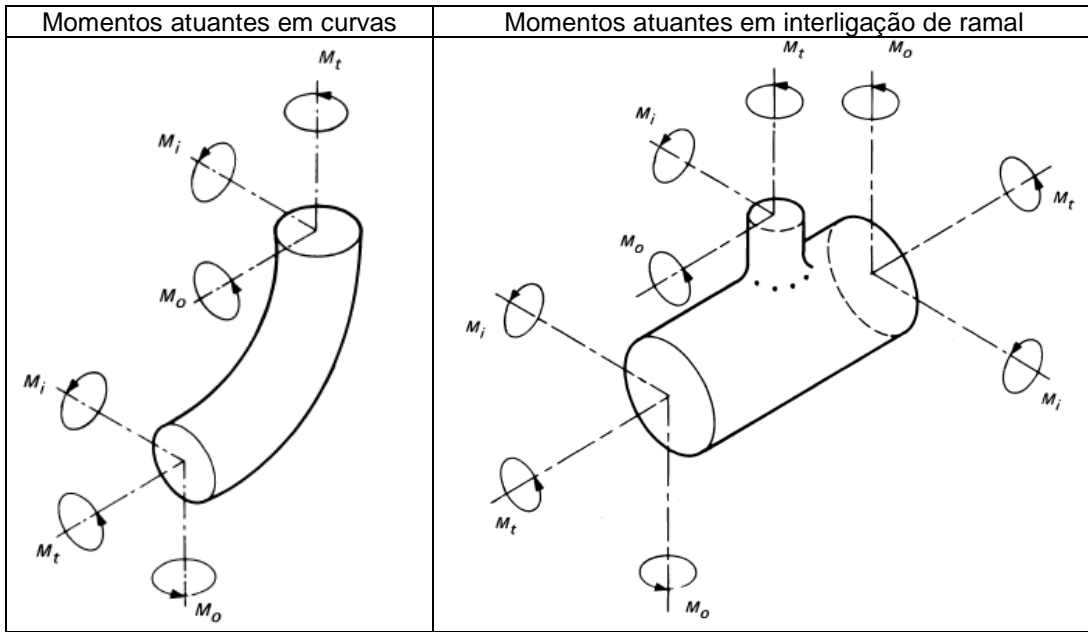
I_i = índice relativo ao momento fletor in-plane, adotar o maior entre 0.75*i* ou 1.00.

I_o = índice relativo ao momento fletor out-plane, adotar o maior entre 0.75*i*o ou 1.00.

I_t = índice relativo ao momento torsor, adotar igual a 1,00.

i = fator de intensificação de tensão in-plane, conforme norma ASME B31.3 tabela *Table D300 Flexibility Factor, k, and Stress Intensification Factor, i*

io = fator de intensificação de tensão out-plane, conforme norma ASME B31.3 tabela *Table D300 Flexibility Factor, k, and Stress Intensification Factor, i*



A análise considera a distribuição uniforme de tensão ao longo da espessura, o que na realidade é uma simplificação, pois não ocorre na realidade, mas para relações entre raio e espessura maiores do que três esta simplificação é aceitável.

8. Análise Dinâmica

Os sistemas de tubulação ligados a máquinas alternativas devem ter Análise Dinâmica Modal, para determinação dos modos e frequências naturais de vibração do sistema e prevenir que estejam próximos às frequências de vibração da máquina.

Além desses, também devem ser avaliados os sistemas suscetíveis à vibração, pela ocorrência dos seguintes fenômenos na tubulação:

- Pulsações de pressão induzidas por bomba;
- Fluxo com turbulência;
- Cavitação em bomba ou em válvula;
- Vaporização súbita de condensado;
- Desprendimento de vórtices em fluxos de vapor ou gás de descargas de válvulas de alívio de pressão;
- Martelo hidráulico de água ou vapor.

Sempre que requerido pelo Proprietário, deve ser realizada Análise Dinâmica Modal para determinação dos modos e frequências naturais de vibração do sistema de tubulação.

A análise dinâmica só é possível de realização com os recursos de programas de computador, no entanto algumas medidas preventivas devem ser tomadas:

- a. Não projetar sistemas com flexibilidade excessiva, por ex. com o emprego de vários suportes de mola;
- b. Utilizar guias e batentes para conter a vibração das tubulações;
- c. Dividir com ancoragens intermediárias sistemas de tubulação com muita ramificação;

- d. Incorporar ao sistema amortecedores de vibração.

9. Verificação de Flexibilidade do sistema de tubulações

9.1. Controlando a dilatação térmica

Os sistemas de tubulações devem ter flexibilidade suficiente para evitar que a expansão térmica ou contração ou movimentos de suportes e das extremidades causem:

- Falha de tubulação ou de suportes por esforço excessivo ou fadiga;
- Vazamento nas juntas das ligações flangeadas;
- Tensões acima das admissíveis ou distorção em válvulas ou em equipamentos conectados (bombas e turbinas, por ex.), resultantes de forças e momentos transmitidos pela tubulação.

A análise do efeito das tensões e forças geradas pela dilatação térmica de um sistema de tubulações, sobre suportes, ancoragens e bocais, é feito com o cálculo de flexibilidade do sistema.

O cálculo de flexibilidade devido às dilatações (ou contrações) térmicas, aos movimentos das extremidades da tubulação, ou à combinação desses efeitos, deve ser realizado como exigido pelas normas ASME B31.1, B31.3, B31.4, B31.5 e B31.8, conforme o campo de aplicação de cada norma.

Os efeitos dos movimentos provenientes da expansão ou contração térmica do sistema de tubulações ou impostos em pontos fixos como as ancoragens e os bocais de equipamentos devem ser levados em conta na análise de flexibilidade do sistema.

9.2. Casos de dispensa da análise de flexibilidade

O cálculo ou análise de flexibilidade é obrigatório para todas as tubulações, exceto nos seguintes casos:

a) Casos de dispensa previstos nas ASME B31.1, B31.3, B31.4 e B31.8.

Conforme a norma ASME B31.3, a análise da flexibilidade formal não é necessária para um sistema de tubulação que:

- Duplica ou substitui, sem mudança significativa, um sistema existente que opere com sucesso;
- É considerado adequado por comparação com sistemas anteriormente analisados;
- É de diâmetro uniforme, não tem mais do que dois pontos de fixação, sem restrições intermediárias e cai dentro das limitações de seguinte equação empírica:

$$\frac{Dy}{(L - U)^2} \leq K_1$$

Onde

D = diâmetro externo do tubo, mm (pol.);

Ea = módulo de elasticidade a 21 ° C (70 ° F), (Mpa) (Ksi);

K1 = 208 000 Sa / Ea, (mm / m)² = 30 Sa / Ea, (in./ft)²;

Sa = range da tensão admissível, calculado com a expressão, (Mpa) (ksi);

$$S_a = f(1,25S_c + 0,25S_h)$$

S_c = tensão de tração admissível de material na condição a frio (c=cold), isto é na temperatura de condição ambiente;

S_h = tensão de tração admissível de material na condição a quente (h=hot), isto é na temperatura de condição de operação;

f = *Stress Range Factor*, f conforme Fig. 302.3.5 da norma ASME B31.3.

L = comprimento desenvolvido da tubulação entre os pontos fixos ou ancoragens do sistema, m (ft);

U = distância em linha reta entre os pontos fixos ou ancoragens do sistema, m (ft);

y = somatório das dilatações térmicas do sistema, mm (pol.), a ser absorvido pelo sistema.

b) Tubulações com temperatura máxima de operação entre 5 °C e 40 °C, não expostas ao sol e não sujeitas à limpeza com vapor (“steam out”).

9.3. Métodos de análise de flexibilidade de sistema de tubulações

O cálculo de flexibilidade deve ser feito por um dos seguintes métodos:

- método analítico geral conforme estabelecido na norma *ASME B31.3 parágrafo 319.4.2 Formal Analysis Requirements*
- métodos gráficos reconhecidos, desde que a tubulação em questão enquadre-se exatamente dentro do campo estrito de aplicação do gráfico;
- programas de computador previamente aprovados pelo Proprietário.

O método analítico, muito usado no passado, é complexo e cansativo, de modo que há já algum tempo essa análise é feita em computador, utilizando programas comerciais com validação reconhecida.

Os programas automáticos de Cálculo mecânico e Análise de Flexibilidade de sistemas de tubulações mais conhecidos são CAESAR II e TRIFLEX

Ambos consideram o efeito de: temperatura, pressão, peso do sistema de tubulação, peso de produto, ancoragens, restrição de movimentos de guias, batentes ou “stops”, suportes de mola, atrito nos apoios, gelo, neve, vento, eventos sísmicos e cargas transientes, logo permitem análises estáticas e dinâmicas.

[CAESAR II® Windows Pipe Stress Analysis](http://www.codecad.com/caesarii.htm)

<http://www.codecad.com/caesarii.htm>

Intergraph CAESAR II avalia as respostas estruturais e tensões de sistemas de tubulação a partir de códigos e padrões internacionais.

[TRIFLEX® Windows Pipe Stress Software](http://www.pipingsolutions.com/triflex/)

<http://www.pipingsolutions.com/triflex/>

Triflex® Windows também é um programa de Análise de Tensões em sistemas de tubulação.

9.4. Sistemas que devem ter a Análise de Flexibilidade utilizando Métodos Computacionais

A análise deve contemplar todas as condições de carregamentos possíveis e aplicáveis ao sistema de tubulações, tais como: projeto, partida, operação normal, operação em emergência, parada, teste hidrostático, limpeza com vapor *steam out*, descarga de PSV, vapor de aquecimento *steam tracing*, vento, terremoto, dentre outros.

Os sistemas listados a seguir devem ser submetidos ao cálculo de flexibilidade, em função do diâmetro nominal e da temperatura de projeto, utilizando métodos computacionais.

Sistema	Temperatura (°C)	≤ 1 1/2	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	≥ 20
Tanques de Armazenamento	Qualquer	<p>Análise de Flexibilidade Computacional Obrigatória</p> <p>Análise de Flexibilidade Computacional não Obrigatória</p> <p>Análise de Flexibilidade Computacional Obrigatória</p>											
Resfriadores a Ar	Qualquer												
Rotodinâmicos	Qualquer												
Geral	> 260												
	≥ 205 e < 260												
	≥ 150 e < 205												
	≥ 90 e < 150												
	≥ 40 e < 90												
Geral	≥ 5 e < 40												
	< 5												

Para cálculo de flexibilidade de linhas, com temperaturas acima de 40 °C, deve ser utilizada a pior condição de temperatura, entre as descritas abaixo:

- a) Condição 1: temperatura de projeto da tubulação;
- b) Condição 2: temperaturas eventuais, tais como: anormalidades operacionais, emergência, limpeza com vapor (“steam out”), descoqueamentos de fornos (“steam air decoking”); nos casos mais críticos, recomenda-se calcular com maior precisão a distribuição de temperatura ao longo da tubulação em análise;
- c) Condição 3: temperatura do vapor de aquecimento, no caso de tubulação com aquecimento com vapor (“steam tracing”);
- d) Condição 4: 60 °C, para todas as tubulações não isoladas expostas ao sol.
- e) Condição 5: no caso de limpeza com vapor (“steam out”) considerar as condições determinadas na tabela a seguir, que estabelece as temperaturas de metal para projeto mecânico de tubulações sujeitas à limpeza com vapor.

	Vapor de baixa		Vapor de média	
	T (°C)	P (kgf/cm ²)	T (°C)	P (kgf/cm ²)
Linha não isolada	80	0,5	170	2,5
Linha isolada	130	0,5	200	2,5
Interno de Válvula	130		200	
Equipamentos não isolados	70		160	
Equipamentos isolados	130		200	

NOTA 1 Dados válidos para análise de flexibilidade.
 NOTA 2 Para determinação das temperaturas de metal foram consideradas as seguintes condições:
 vapor de baixa T = 130 a 150 graus Celsius e P = 2 a 3 kgf/cm²;
 vapor de média T = 200 a 250 graus Celsius e P = 10 a 12,5 kgf/cm²;
 NOTA 3 Para condições de vapor diferentes deve ser avaliada a temperatura de metal.

A pressão de cálculo, a considerar, deve ser o valor de pressão da condição que apresentar a maior relação P/S, por ex.:

- Condição 1: temperatura T1; pressão P1; tensão admissível S1: relação P1/S1;
- Condição 2: temperatura T2; pressão P2; tensão admissível S2: relação P2/S2;
- Condição 3: temperatura T3; pressão P3; tensão admissível S3: relação P3/S3.

9.5. Sistemática de cálculo e análise de tensões

A tubulação é dividida em nós identificados e que requeiram análise, tais como, bocais de equipamentos, acessórios de tubulação de mudança de direção, suportes rígidos ou não rígidos, válvulas, flanges, cargas aplicadas, por exemplo, sendo os ramos, os trechos entre dois nós consecutivos.

Pela análise dos resultados, os esforços fornecidos pelo programa, em um ponto qualquer do ramo, representam os esforços que a parte final do ramo faz sobre a parte inicial (da origem até o ponto considerado)

Enquanto os momentos e as tensões variam em cada ponto, as forças em cada direção são constantes ao longo dos pontos do ramo considerado. Os momentos não são iguais, pois variam com a distância ao ponto referencial ($M = \text{Força} \times \text{Distância}$)

Qualquer nó do sistema considerado tem resultante das forças que nele atuam iguais a zero (sistema em equilíbrio).

As reações nos extremos do sistema são os esforços necessários para trazer este extremo à posição original, considerando-se a dilatação livre.

9.6. Medidas que facilitam a flexibilidade

petroblog-Santini

O conceito de flexibilidade é a característica de um sistema de tubulações ser capaz de deformar-se, para acomodar as dilatações térmicas, mantendo-se as tensões e esforços na linha, menores do que valores máximos admissíveis.

O layout da tubulação deve proporcionar flexibilidade inerente, através de mudanças de direção, de modo que os deslocamentos produzam principalmente deformações de flexão e de torção.

Onde a tubulação carece de mudanças de direção, reações e esforços excessivos ocorrem.

A boa prática é o projetista conseguir que o cálculo de flexibilidade seja somente um cálculo de verificação da configuração projetada.

Para isso, se deve estar atento para certos detalhes a serem respeitados.

- A flexibilidade das tubulações deve ser conseguida por traçados não retilíneos adequados, devendo-se evitar o uso de juntas de expansão ou pré-tensionamento ("cold spring"), a menos que seja a melhor solução técnica e econômica para o arranjo de tubulação, devendo, em cada caso, a projetista apresentar justificativa do seu emprego para aprovação do Proprietário.
- A Norma ASME B 31.3 adverte que flexibilidade própria se aplica a materiais dúteis, não devendo ser usada para, por exemplo, tubos de ferro fundido.
- Quanto maior o comprimento desenvolvido, em relação à distância entre ancoragens, mais flexível será o sistema de tubulações.
- Quanto mais simétrico, em relação ao traçado, melhor será a flexibilidade do sistema de tubulação.
- Contrariamente, quanto maior for a desproporção entre os diversos trechos, menos flexível será o sistema de tubulação.
- Quanto mais liberdade tiver a tubulação de se deformar, mais flexível será o sistema.
- Nos sistemas planos de tubulações, as dilatações impõem aos tubos deformações sob a forma de flexões, já nos sistemas tridimensionais ou espaciais, existem flexões e torções.
- Em geral o sistema espacial é mais flexível, dentro de igual comprimento total desenvolvido, pois o efeito da torção é mais eficiente para manter o *range* de tensões atuantes abaixo do admissível.
- Instalar acessórios e válvulas sempre que possível próximos aos pontos de suportaço.
- Evitar e minimizar cargas externas.
- Instalar guias e batentes para direcionar os deslocamentos da tubulação devido à expansão térmica.
- Colocar chapas de deslizamento ou roletes para reduzir o efeito do atrito em suportes.
- Em sistemas sujeitos a vibrações instalar amortecedores de vibração.

Nota: Quando necessário, o projetista deve considerar o aumento de flexibilidade com o emprego de, loops, tubo corrugado; junta de expansão de fole ou outros dispositivos que permitam movimento angular, de rotação ou axial.

Recomendações:

- Não utilizar segmento em linha reta entre pontos fixos.
- Quanto maior o comprimento desenvolvido para a tubulação, em relação aos pontos fixos, melhor a flexibilidade.
- Quanto mais simétrico ou menor a desproporção entre os trechos da tubulação, o sistema tem melhor distribuição dos esforços.
- Sempre que possível adotar arranjo tridimensional que é mais flexível, ou seja, permite maior liberdade de movimento à tubulação, que a configuração plana, pois, o efeito de torção é cerca de 30% mais eficiente do que a flexão.

9.7. Esforços decorrentes do sistema de tubulações

As ancoragens, guias, batentes devem ser adequadamente dimensionados para resistir a forças e momentos finais produzidos pela pressão do fluido, atrito, mudanças de direção, deslocamentos devidos à expansão térmica impedida, e outras causas.

Os esforços em bocais de equipamentos devem ser analisados e verificados.

Quando junta de expansão ou outro dispositivo semelhante é utilizado, a rigidez do fole ou dispositivo de articulação deve ser considerada em qualquer análise de flexibilidade da tubulação.

O cálculo de flexibilidade deve incluir, obrigatoriamente, a determinação de todos os esforços exercidos pela tubulação sobre os pontos fixos (ancoragem e bocais), bem como sobre todos os dispositivos existentes de restrição de movimento (tais como: guias longitudinais, transversais ou mistas e batentes).

A real condição de contato e as folgas em guias devem ser consideradas de modo a não mascarar os resultados.

Devem, obrigatoriamente, ser considerados, para o cálculo de flexibilidade, os movimentos impostos à tubulação (ex.: deslocamento de bocais de torres e vasos), considerando-se as diversas alternativas relativas a esses movimentos, inclusive condições de partida, parada e de operação, como por exemplo, fechamento de válvulas, criando condições alternativas distintas de temperatura entre trechos de tubulação.

Para tubulações em serviço crítico, operando em alta temperatura e/ou elevado número de ciclos operacionais, ou sempre que solicitado pelas especificações de serviço do Proprietário, devem ser verificados os esforços nas ligações flangeadas de válvulas, de filtros, de trechos desmontáveis (para facilitar a manutenção), etc., conforme o *Código de Vasos de Pressão ASME BPVC Section VIII*.

Exemplos de linhas que se enquadram nessa condição:

- Linhas de transferência forno-torre em unidades de destilação atmosférica e a vácuo;
- Linhas de topo e fundo de reatores de hidrodessulfurização e de tambores de coque;
- Linhas e dutos de gases de combustão; e
- Linhas de topo de reatores de unidades de craqueamento.

Linhas de pequeno diâmetro (NPS 2 e menores) conectadas a equipamentos e tubulações sujeitos a grandes deslocamentos no ponto de conexão devem ser verificadas e projetadas para absorver esses deslocamentos.

9.8. Juntas de expansão

Empregar juntas de expansão, quando espaço ocupado pelo sistema é muito reduzido, ou houver grande dilatação e em tubulação de grande diâmetro

Quando for necessário o emprego de juntas de expansão, o fole deve ser calculado de acordo com a *EJMA Standards - Standards of the Expansion Joint Manufacturers Association*.

Prover dispositivos adequados para impedir a abertura exagerada do fole da junta.

Levar em consideração a possibilidade de fechamento das corrugações do fole quando sujeito a vibrações, dilatação ou contração diferencial devido a ciclos de temperatura, ou por cargas mecânicas externas.

Evitar juntas de expansão com limites de pressão inferiores aos da classe de pressão dos demais acessórios de tubulação.

Juntas de expansão não devem ser utilizadas em condições cíclicas e quando o fluido é tóxico.

Nos casos de uso de junta de expansão, o projetista deve, obrigatoriamente, considerar como carga primária os esforços devidos à reação de empuxo da pressão interna, em regime permanente e transiente, e à rigidez dos foles sobre os pontos de restrição, tais como: ancoragens e bocais.

9.9. Suportes de mola

Suportes de mola ou outros suportes móveis devem ser utilizados quando a instalação de apoios rígidos não for possível, em função dos movimentos previstos nos pontos de apoio.

Suporte do tipo contrapeso só pode ser utilizado mediante aprovação prévia do Proprietário.

O cálculo das cargas e movimentos para seleção ou dimensionamento desses suportes deve ser baseado no método analítico geral ou cálculo computacional, para garantir maior precisão.

Suportes de mola de carga constante devem ser utilizados quando:

- a) a variação de carga dos suportes resultar em esforços além dos aceitáveis sobre os equipamentos;
- b) os suportes de mola de carga variável não atenderem aos requisitos de carga e deslocamento;
- c) sistemas de tubulação muito complexos, com diversas condições e ciclos de operação.

9.10. Pré-tensionamento ou *cold spring*

O *cold spring* é permitido pela norma ASME B31.3 para resolver o efeito de altos esforços devido à dilatação da tubulação em bocais de equipamentos.

É o corte intencional de trecho de tubo para que uma carga seja induzida no equipamento, na condição ambiente, e ao aquecer os esforços, forças e momentos, no bocal se reduzem a aproximadamente zero.

Há várias restrições ao *cold spring*:

1. O *range* calculado de tensões térmicas não se altera com o *cold spring*.
2. Por teoria o *cold spring* zera a carga térmica no bocal do equipamento, mas desconsidera a influência dos esforços primários: pesos, atritos nos suportes, mudanças de direção, etc.
3. As contrações de soldas e movimentações para ajustagem dos tubos na montagem podem alterar o *cold spring* calculado.
4. O relaxamento com o tempo que ocorre nas altas temperaturas, após 3 a 4 ciclos de partida – operação - parada afeta o *cold spring* da montagem.

Assim, *cold spring* só é usado quando não houver outra solução.

10. Esforços máximos em bocais de equipamentos

Para os valores máximos admissíveis dos esforços sobre os bocais dos equipamentos ligados às tubulações deve ser adotado o seguinte critério:

- a) para bombas, turbinas a vapor e compressores cujo projeto e construção obedeçam exatamente ao exigido pelas API STD [610](#), [611](#), [612](#), [617](#) e NEMA [SM 23](#), respectivamente:
 - Valores máximos ou critérios admitidos pelas referidas normas;
- b) para bombas, turbinas a vapor, compressores e outras máquinas não incluídas em a):
 - Recomendam-se que sejam obtidos do fabricante da máquina os valores dos esforços máximos admissíveis sobre os bocais, sendo essa providência indispensável para todos os tipos de compressores e para bombas e turbinas de grande porte; quando não for possível obter dados confiáveis, podem ser adotados como orientação os valores fornecidos pelas norma API citadas em a);
- c) para equipamentos de caldeiraria e válvulas especiais em tubulações de grande diâmetro:
 - Devem ser verificadas as tensões nos bocais ou nas extremidades e corpo de válvulas, através de métodos analíticos reconhecidos (ver Welding Research Council bulletins WRC 107 e WRC 297) ou por análise de tensões pelo método dos elementos finitos, aprovados pelo Proprietário e em conformidade com as normas de projeto do equipamento. Em casos especiais devem ser solicitados os esforços máximos admissíveis do fabricante do equipamento.

Anexos

Anexo 1: Extratos da norma Petrobras N-46 Vãos Máximos entre Suportes de Tubulação

Objetivo

Padronizar os vãos máximos entre suportes de tubos de aço sem revestimento interno, em trechos retos, dentro e fora dos limites de unidades de processo.

Notas aplicáveis às tabelas A-1, A-2, A-3 e A-4

Foi considerado o tubo cheio d'água, à tensão admissível $S/4$, sendo S a tensão admissível à tração e o módulo de elasticidade E , do aço-carbono API 5L Gr. B, nos limites superiores das faixas de temperatura apresentadas nas tabelas.

O valor da flecha foi limitado em 6 mm para dentro das unidades de processo ("on site") e em 25 mm para fora ("off site").

A sobreespesura de corrosão adotada foi de 1,3 mm ou 3,2 mm, conforme o caso, e a tolerância de fabricação fixada em $\pm 12,5\%$ da espessura do tubo.

Foram considerados os pesos específicos de 0,220 kgf/dm³ para o isolamento térmico (silicato de cálcio), de 7,83 kgf/dm³ para o aço-carbono e de 1 kgf/dm³ para a água.

Não foi considerada qualquer sobrecarga.

No caso de tubos contendo produtos mais pesados que a água, estas tabelas não devem ser usadas, devendo o vão máximo ser calculado.

As espessuras de isolamento térmico são as usuais.

TABELA A-1 - VAOS MÁXIMOS ENTRE SUPORTES DE TUBULAÇÃO ("ON SITE") - FLECHA : 6 mm, ESPESSURA DE CORROSÃO : 1,3 mm

Diâmetro Nominal		SCH., ou ESP. em in	Tubo + Água m	Vãos Máximos (m)					
				Tubo + Água + Isolamento					
				°C 35 a 200		°C 201 a 330		°C 331 a 400	
mm	in		Isol. mm	Vão	Isol. mm	Vão	Isol. mm	Vão	
12	1/2	80	3,2	25	2,7	25	2,7	25	2,5
		160	3,2		2,8		2,8		2,6
19	3/4	80	3,5	63	2,4	63	2,2	63	1,9
		160	3,5		2,7		2,5		2,2
25	1	80	3,9	63	3,1	63	2,8	63	2,5
		160	4,0		3,2		3,1		2,7
40	1 1/2	80	4,7	63	3,9	63	3,8	63	3,3
		160	4,8		4,1		4,0		3,7
50	2	40	5,0	51	4,3	63	3,9	63	3,4
		80	5,2		4,6		4,4		3,9
80	3	40	6,1	51	5,6	63	5,4	63	4,8
		80	6,3		5,8		5,7		5,3
100	4	40	6,9	51	6,3	63	6,1	63	5,5
		80	7,1		6,7		6,5		6,2
150	6	40	8,2	51	7,7	63	7,5	76	6,6
		80	8,6		8,2		8,0		7,5
200	8	20	8,8	51	8,3	76	7,9	89	6,7
		40	9,2		8,8		8,5		7,4
250	10	20	9,5	63	9,0	89	8,2	102	7,0
		40	10,2		9,7		9,4		8,2
300	12	.250	10,0	63	9,5	89	8,6	102	7,4
		.500	11,4		10,9		10,6		9,7
350	14	.250	10,3	63	9,8	89	8,8	102	7,5
		.500	11,8		11,3		11,1		10,0
400	16	.250	10,6	63	10,0	102	8,9	102	7,7
		.500	12,4		11,9		11,6		10,4
450	18	.250	10,8	63	10,2	102	9,1	102	7,9
		.500	12,9		12,4		12,1		10,7
500	20	.250	10,9	63	10,4	102	9,3	114	8,0
		.500	13,4		12,9		12,6		10,9
600	24	.250	11,1	63	10,7	102	9,6	114	8,3
		.375	13,5		13,0		11,7		10,1
750	30	.500	14,3	63	13,8	114	13,2	126	11,4
		.250	11,3		10,9		9,8		8,5
		.375	13,9	63	13,5	114	12,1	126	10,5
		.500	15,3		14,9		13,8		11,9

TABELA A-2 - VÃOS MÁXIMOS ENTRE SUPORTES DE TUBULAÇÃO (“ON SITE”) - FLECHA : 6 mm, ESPESSURA DE CORROSÃO : 3,2 mm

Diâmetro Nominal		SCH., ou ESP. em in	Tubo + Água m	Vãos Máximos (M)					
				Tubo + Água + Isolamento					
mm	in			°C 35 a 200		°C 201 a 330		°C 331 a 400	
				Isol. mm	Vão	Isol. mm	Vão	Isol. mm	Vão
12	1/2	160	3,0	25	2,5	25	2,4	25	2,1
		XXS	3,2		2,8		2,8		2,6
19	3/4	80	2,5	63	1,0	63	0,9	63	0,80
		160	3,5		2,2		2,1		1,8
25	1	80	3,5	63	2,0	63	1,8	63	1,6
		160	3,9		3,0		2,7		2,4
40	1 1/2	80	4,3	63	3,1	63	2,8	63	2,5
		160	4,7		3,9		3,8		3,3
50	2	80	4,8	51	4,1	63	3,6	63	3,1
		160	5,3		4,7		4,5		4,1
80	3	40	5,5	51	4,8	63	4,2	63	3,7
		80	6,1		5,5		5,4		4,8
100	4	40	6,3	51	5,7	63	5,1	63	4,5
		80	6,9		6,4		6,2		5,6
150	6	40	7,6	51	7,1	63	6,7	76	5,6
		80	8,4		7,9		7,8		7,1
200	8	20	7,9	51	7,2	76	6,4	89	5,4
		80	9,5		9,1		8,9		8,1
250	10	20	8,1	63	7,4	89	6,5	102	5,6
		80	10,4		9,9		9,6		8,6
300	12	. 375	10,4	63	9,9	89	9,2	102	7,9
		. 500	11,1		10,6		10,3		9,1
350	14	. 375	10,7	63	10,2	89	9,4	102	8,1
		. 500	11,4		11,0		10,7		9,4
400	16	. 375	11,2	63	10,7	102	9,6	102	8,3
		. 500	12,0		11,5		11,2		9,7
450	18	. 375	11,6	63	11,1	102	9,8	102	8,5
		. 500	12,5		12,0		11,5		10,0
500	20	. 375	11,7	63	11,2	102	10,0	114	8,6
		. 500	12,9		12,5		11,8		10,2
600	24	. 250	8,6	63	8,2	102	7,4	114	6,4
		. 375	12,0		11,5		10,4		8,9
750	30	. 500	13,7	63	13,3	114	12,3	126	10,6
		. 250	8,7		8,4		7,5		6,5
		. 375	12,2		11,8		10,7		9,2
		. 500	14,5		14,1		12,7		11,0

TABELA A-3 - VAOS MÁXIMOS ENTRE SUPORTES DE TUBULAÇÃO ("OFF SITE") - FLECHA : 25 mm, ESPESSURA DE CORROSÃO : 1,3 mm

Diâmetro Nominal		SCH., ou ESP. em in	Tubo + Água m	Vãos Máximos (m)					
				Tubo + Água + Isolamento					
				°C 35 a 200		°C 201 a 330		°C 331 a 400	
mm	in		Isol. mm	Vão	Isol. mm	Vão	Isol. mm	Vão	
12	1/2	180	4,0	25	3,1	25	2,8	25	2,5
		160	4,0		3,2		3,0		2,6
19	3/4	80	4,4	63	2,4	63	2,2	63	1,9
		160	4,5		2,7		2,5		2,2
25	1	80	5,0	63	3,1	63	2,8	63	2,5
		160	5,0		3,4		3,1		2,7
40	1 1/2	80	5,8	63	4,1	63	3,8	63	3,3
		160	6,0		4,5		4,2		3,7
50	2	40	5,9	51	4,5	63	3,9	63	3,4
		80	6,5		5,2		4,5		3,9
80	3	40	7,3	51	6,2	63	5,5	63	4,8
		80	7,9		6,9		6,1		5,3
100	4	40	8,1	51	7,1	63	6,3	63	5,5
		80	8,8		7,9		7,1		6,2
150	6	40	9,5	51	8,6	63	7,8	76	6,6
		80	10,5		9,8		8,9		7,5
200	8	20	9,6	51	8,9	76	7,9	89	6,7
		40	10,5		9,8		8,8		7,4
250	10	20	10,0	63	9,3	89	8,2	102	7,0
		40	11,6		10,8		9,6		8,2
300	12	.250	10,3	63	9,6	89	8,6	102	7,4
		.500	13,2		12,5		11,3		9,7
350	14	.250	10,5	63	9,8	89	8,8	102	7,5
		.500	13,5		12,9		11,6		10,0
400	16	.250	10,6	63	10,0	102	8,9	102	7,7
		.500	14,0		13,4		12,0		10,4
450	18	.250	10,8	63	10,2	102	9,1	102	7,9
		.500	14,3		13,8		12,4		10,7
500	20	.250	10,9	63	10,4	102	9,3	114	8,0
		.500	14,7		14,1		12,7		10,9
600	24	.250	11,1	63	10,7	102	9,6	114	8,3
		.375	13,5		13,0		11,7		10,1
		.500	15,2		14,7		13,2		11,4
750	30	.250	11,3	63	10,9	114	9,8	126	8,5
		.375	13,9		13,5		12,1		10,5
		.500	15,7		15,3		13,8		11,9

TABELA A-4 - VÃOS MÃXIMOS ENTRE SUPORTES DE TUBULAÇÃO ("OFF SITE") - FLECHA : 25 mm, ESPESSURA DE CORROSÃO : 3,2 mm

Diâmetro Nominal		SCH., ou ESP. em in	Vãos MÃximos (m)						
			Tubo + Água m	Tubo + Água + Isolamento					
				°C 35 a 200		°C 201 a 330		°C 331 a 400	
mm	in		Isol. mm	Vão	Isol. mm	Vão	Isol. mm	Vão	
12	1/2	160 XXS	3,7	25	2,6	25	2,4	25	2,1
			4,0		3,3		3,0		2,6
19	3/4	80 160	2,5	63	1,0	63	0,9	63	0,80
			4,3		2,2		2,1		1,8
25	1	80 160	4,0	63	2,0	63	1,8	63	1,6
			4,9		3,0		2,7		2,4
40	1 1/2	80 160	4,9	63	3,1	63	2,8	63	2,5
			5,8		4,1		3,8		3,3
50	2	80 160	5,6	51	4,2	63	3,6	63	3,1
			6,6		5,4		4,7		4,1
80	3	40 80	6,0	51	4,8	63	4,2	63	3,7
			7,3		6,2		5,5		4,8
100	4	40 80	6,8	51	5,8	63	5,1	63	4,5
			8,2		7,3		6,5		5,6
150	6	40 80	8,2	51	7,4	63	6,7	76	5,6
			10,0		9,3		8,4		7,1
200	8	20 80	7,9	51	7,2	76	6,4	89	5,4
			11,3		10,6		9,5		8,1
250	10	20 80	8,1	63	7,4	89	6,5	102	5,6
			12,0		11,2		10,1		8,6
300	12	. 375 . 500	11,0	63	10,3	89	9,2	102	7,9
			12,5		11,8		10,6		9,1
350	14	. 375 . 500	11,2	63	10,5	89	9,4	102	8,1
			12,8		12,1		10,9		9,4
400	16	. 375 . 500	11,4	63	10,8	102	9,6	102	8,3
			13,1		12,5		11,2		9,7
450	18	. 375 . 500	11,6	63	11,0	102	9,8	102	8,5
			13,4		12,8		11,5		10,0
500	20	. 375 . 500	11,7	63	11,2	102	10,0	114	8,6
			13,7		13,1		11,8		10,2
600	24	. 250 . 375 . 500	8,6	63	8,2	102	7,4	114	6,4
			12,0		11,5		10,4		8,9
750	30	. 250 . 375 . 500	14,1		13,6		12,3		10,6
			8,7	63	8,4	114	7,5	126	6,5
			12,2		11,8		10,7		9,2
			14,5		14,1		12,7		11,0

Anexo 2: Normas de padrões dimensionais de acessórios padronizados de tubulação.

Fonte: ASME B31.3 Table 326.1 Component Standards

Dimensional standards for piping components.

Standard or Specification	Designation
Bolting	
Square and Hex Bolts and Screws (Inch Series)	ASME B18.2.1
Square and Hex Nuts (Inch Series).	ASME B18.2.2
Metallic Fittings, Valves, and Flanges	
Gray Iron Pipe Flanges and Flanged Fittings	ASME B16.1
Malleable Iron Threaded Fittings	ASME B16.3
Gray Iron Threaded Fittings.	ASME B16.4
Pipe Flanges and Flanged Fittings	ASME B16.5
Factory-Made Wrought Steel Buttwelding Fittings	ASME B16.9
Face-to-Face and End-To-End Dimensions of Valves	ASME B16.10
Forged Fittings, Socket-Welding and Threaded	ASME B16.11
Ferrous Pipe Plugs, Bushings, and Locknuts With Pipe Threads	ASME B16.14
Cast Bronze Threaded Fittings, Class 125 and 250 [Note (1)]	ASME B16.15
Cast Copper Alloy Solder Joint Pressure Fittings	ASME B16.18
Wrought Copper and Copper Alloy Solder Joint Pressure Fittings	ASME B16.22
Cast Copper Alloy Pipe Flanges and Flanged Fittings: Classes 150, 300, 600, 900, 1500, and 2500.	ASME B16.24
Cast Copper Alloy Fittings for Flared Copper Tubes	ASME B16.26
Valves-Flanged, Threaded, and Welding End.	ASME B16.34
Orifice Flanges, Class 300, 600, 900, 1500, and 2500.	ASME B16.36
Malleable Iron Threaded Pipe Unions, Class 150, 250, and 300	ASME B16.39
Ductile Iron Pipe Flanges and Flanged Fittings, Class 150 and 300.	ASME B16.42
Large Diameter Steel Flanges, NPS 26 Through NPS 60	ASME B16.47
Steel Line Blanks	ASME B16.48
Brazing Joints for Copper and Copper Alloy Pressure Fittings.	ASME B16.50
Bioprocessing Equipment [Note (2)]	ASME BPE
Pipeline Valves [Note (3)]	API 6D
Flanged Steel Pressure-Relief Valves.	API 526
Check Valves: Flanged, Lug, Wafer and Butt-welding	API 594
Metal Plug Valves—Flanged, Threaded, and Welding Ends.	API 599
Bolted Bonnet Steel Gate Valves for Petroleum and Natural Gas Industries	API 600
Steel Gate, Globe, and Check Valves for Sizes DN 100 and Smaller for the Petroleum and Natural Gas Industries.	API 602
Corrosion-Resistant, Bolted Bonnet Gate Valves — Flanged and Butt-Welding Ends	API 603
Metal Ball Valves-Flanged, Threaded, and Welding End	API 608
Butterfly Valves: Double-flanged, Lug- and Wafer-type	API 609
Ductile-Iron and Gray-Iron Fittings, 3 Inch Through 48 Inch (75 mm Through 1200 mm), for Water and Other Liquids	AWWA C110
Flanged Ductile-Iron Pipe with Ductile-Iron or Gray-Iron Threaded Flanges	AWWA C115
Steel Pipe Flanges for Waterworks Service, Sizes 4 inch Through 144 inch (100 mm Through 3,600 mm)	AWWA C207
Dimensions for Fabricated Steel Water Pipe Fittings.	AWWA C208
Metal-Seated Gate Valves for Water Supply Service	AWWA C500
Rubber-Seated Butterfly Valves	AWWA C504
Standard Finishes for Contact Faces of Pipe Flanges and Connecting-End Flanges of Valves and Fittings	MSS SP-6
Spot Facing for Bronze, Iron and Steel Flanges.	MSS SP-9
Standard Marking Systems for Valves, Fittings, Flanges, and Unions.	MSS SP-25
Class 150 (PN 20) Corrosion Resistant Gate, Globe, Angle and Check Valves With Flanged and Butt Weld Ends	MSS SP-42
Wrought Stainless Steel Buttwelding Fittings Including Reference to Other Corrosion Resistant Materials [Note (4)]	MSS SP-43
Steel Pipeline Flanges	MSS SP-44
Bypass and Drain Connections	MSS SP-45
Class 150LW Corrosion Resistant Flanges and Cast Flanged Fittings	MSS SP-51
High Pressure Chemical Industry Flanges and Threaded Stubs for Use with Lens Gaskets	MSS SP-65
Gray Iron Gate Valves, Flanged and Threaded Ends	MSS SP-70

Gray Iron Swing Check Valves, Flanged and Threaded Ends	MSS SP-71
Ball Valves With Flanged or Butt welding Ends for General Service	MSS SP-72
Specifications for High Test Wrought Butt welding Fittings	MSS SP-75
Gray Iron Plug Valves, Flanged and Threaded Ends	MSS SP-78
Socket-Welding Reducer Inserts	MSS SP-79
Bronze Gate, Globe, Angle and Check Valves	MSS SP-80

Metallic Fittings, Valves, and Flanges (Cont'd)

Stainless Steel, Bonnetless, Flanged, Knife Gate Valves	MSS SP-81
Class 3000 Steel Pipe Unions, Socket-Welding and Threaded	MSS SP-83
Gray Iron Globe and Angle Valves, Flanged and Threaded Ends	MSS SP-85
Diaphragm Type Valves	MSS SP-88
Swage(d) Nipples and Bull Plugs	MSS SP-95
Integrally Reinforced Forged Branch Outlet Fittings — Socket Welding, Threaded, and Butt welding Ends.	MSS SP-97
Instrument Valves for Code Applications	MSS SP-105
Cast Copper Alloy Flanges and Flanged Fittings Class 125, 150, and 300	MSS SP-106
Factory-Made Wrought Belled End Socket Welding Fittings [Note (5)]	MSS SP-119

Refrigeration Tube Fittings — General Specifications.	SAE J513
Hydraulic Tube Fittings.	SAE J514
Hydraulic Flanged Tube, Pipe, and Hose Connections, Four-Bolt Split Flanged Type	SAE J518

Metallic Pipe and Tubes [Note (6)]

Welded and Seamless Wrought Steel Pipe.	ASME B36.10M
Stainless Steel Pipe	ASME B36.19M
Flanged Ductile-Iron Pipe with Ductile-Iron or Gray-Iron Threaded Flanges	AWWA C115
Thickness Design of Ductile-Iron Pipe	AWWA C150
Ductile-Iron Pipe, Centrifugally Cast, for Water	AWWA C151
Steel Water Pipe 6 inches (150 mm) and Larger	AWWA C200

Miscellaneous

Unified Inch Screw Threads (UN and UNR Thread Form)	ASME B1.1
Pipe Threads, General Purpose (Inch)	ASME B1.20.1
Dryseal Pipe Threads (Inch)	ASME B1.20.3
Hose Coupling Screw Threads (Inch).	ASME B1.20.7
Metallic Gaskets for Pipe Flanges — Ring: Joint, Spiral Wound, and Jacketed	ASME B16.20
Nonmetallic Flat Gaskets for Pipe Flanges	ASME B16.21
Butt welding Ends	ASME B16.25
Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay)	ASME B46.1
Thermowells [Note (7)].	ASME PTC 19.3 TW
Specification for Threading, Gaging and Thread Inspection of Casing, Tubing, and Line Pipe Threads	API 5B
Rubber Gasket Joints for Ductile-Iron Pressure Pipe and Fittings.	AWWA C111
Grooved and Shouldered Joints [Note (8)]	AWWA C606
Flexible Metal Hose [Notes (9) and (10)]	BS 6501, Part 1
Pipe Hangers and Supports — Materials, Design, and Manufacture.	MSS SP-58
Standard for Fire Hose Connections	NFPA 1963

GENERAL NOTES:

- (a) It is not practical to refer to a specific edition of each standard throughout the Code text. Instead, the approved edition references, along with the names and addresses of the sponsoring organizations, are shown in Appendix E.
- (b) Many of the listed standards allow the use of unlisted materials; see para. 323.1.2.

NOTES:

- (1) This standard allows straight pipe threads in sizes \leq DN 15 (NPS 1/2); see para. 314.2.1(d).
- (2) Part DT of ASME BPE covers dimensions and tolerances for stainless steel automatic welding and hygienic clamp tube fittings and process components.
- (3) API 6D allows design and calculations for pressure-containing elements to be in accordance with various internationally recognized design codes or standards. Only API 6D valves with design and calculations for pressure-containing elements in accordance with ASME B16.34 are considered a “listed component” for the purpose of this Code.
- (4) *Cautionary Note:* See MSS SP-43 (Section 3) for specific pressure–temperature ratings of available thicknesses of Class CR fittings. The ratings for MSS SP-43 fittings cannot be calculated based on straight seamless pipe such as is done, for example, for ASME B16.9 Butt welding fittings.

- (5) MSS SP-119 includes three classes of fittings: MP, MARINE, and CR. Only the MP class fittings are considered a "Listed Component" for the purpose of this Code. *Cautionary Note:* See MSS SP-119 (Section 6) for special provisions concerning ratings. (In accordance with MSS SP-119, the pressure ratings for MP class fittings are 87.5% of those calculated for straight seamless pipe of *minimum* wall thickness.)
- (6) See also Appendix A.
- (7) ASME PTC 19.3 TW allows mechanical design of thermowells to be in accordance with various design codes. Only PTC 19.3 TW thermowells with design and calculations for pressure-containing elements in accordance with ASME B31.3 are considered a "listed component" for the purpose of this Code.
- (8) For use with this Code, the rated pressure of components covered by this standard shall be based on no greater than one-third the hydrostatic test failure pressure (the pressure at fracture or leakage), rather than one-half the hydrostatic test failure pressure specified in AWWA C606.
- (9) Welding and brazing to be in accordance with paras. 328 and 333, respectively in lieu of the referenced specifications in this standard.
- (10) This standard contains recommended materials of construction for certain chemical services; the responsibility for the ultimate selection of material is the responsibility of the Owner and is, therefore, not within the scope of this Code.